

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE CURA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Douglas Trevelin Rabaiolli (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)douglasunesc@hotmail.com, (2) alexandrevargas@terra.com.br

RESUMO

A indústria da construção civil vem demonstrando algumas deficiências na execução das obras. A velocidade da construção, aliada ao pouco rigor no controle dos serviços proporcionam uma queda drástica na qualidade e durabilidade das estruturas. A cura é uma medida básica e essencial que garante o pleno desempenho dos elementos estruturais de concreto armado. Porém quando não observada, pode trazer graves consequências para a estrutura. O objetivo deste trabalho é avaliar, a diferença de comportamento entre vigas de concreto armado, submetida a três diferentes procedimentos de cura. Para isso foram moldados três grupos de três vigas sendo que no primeiro, a cura foi negligenciada, o segundo foi realizado cura parcial (aspersão descontínua de água) e o terceiro submerso em água. Para cada um dos nove elementos foi realizado o ensaio de flexão em quatro pontos de modo a verificar a capacidade de carga, flecha, formação e abertura de fissuras. Com os resultados observou-se uma notável diferença de comportamento, onde os dois grupos curados apresentaram um melhor desempenho quando comparados ao grupo que teve a cura propositalmente negligenciada. A influência negativa da não realização da cura em vigas de concreto armado tende a ser cada vez mais significativa para elementos dimensionados no domínio 3 (estruturas superarmadas não são recomendadas) uma vez que para este ensaio as vigas foram dimensionadas no domínio 2 e o estado limite último (ruptura) foi caracterizado pela deformação excessiva do aço não permitindo assim uma maior análise do comportamento da peça, tendo em vista que o concreto quase não foi solicitado a compressão.

Palavras-Chave: Cura. Vigas. Concreto armado.

1. INTRODUÇÃO

O ritmo acelerado no processo executivo das estruturas de concreto armado aliado à falta de mão de obra qualificada está fazendo com que algumas técnicas essenciais de execução sejam negligenciadas. A cura constitui uma etapa de fundamental importância para se obter o desempenho desejado nos elementos de concreto, quando não executada de acordo com os preceitos de norma, pode influenciar significativamente na redução de qualidade e vida útil das estruturas.

Para Petrucci (1998, p. 185), cura é o conjunto de medidas que tem a finalidade de evitar a perda prematura de água necessária para a hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento.

De acordo com Mehta & Monteiro (1994, p. 345) “os dois objetivos da cura são impedir a perda precoce de umidade e controlar a temperatura do concreto durante um período suficiente para que este alcance um nível de resistência desejado”.

Segundo Carvalho (2007, p.29) para peças usuais, a cura geralmente consiste em molhar as superfícies aparente do concreto ou as faces das fôrmas, de maneira constante evitando a secagem das mesmas. Deve ser iniciada após o início de pega, que é definido como o tempo a partir do qual o concreto não pode mais ser manuseado.

Conforme Araújo (2003, p. 1), “concreto armado é um material composto, pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas no seu interior.” Sendo o concreto um material com alta resistência a compressão e baixa resistência a tração (cerca de 10% da resistência a compressão), já o aço possui uma alta resistência a tração, logo se vê a necessidade de juntar os dois materiais, esses materiais compostos da-se o nome de concreto armado, onde as barras de aço absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço, no entanto no cálculo a resistência a tração do concreto é desprezada.

Os cálculos de uma estrutura visam garantir estabilidade, conforto e durabilidade. A estrutura é considerada inadequada, quando atinge um estado limite, no qual ela não atende critérios condicionantes ao seu comportamento ou ao seu uso.

Os estados limites considerados são: estado limite de serviço e estado limite último. De acordo com o item 10.4 da NBR 6118 (2003), o estado limite de serviço está relacionado à durabilidade, aparência, conforto do usuário e à boa utilização funcional das estruturas, seja em relação aos usuários, às máquinas ou aos equipamentos utilizados.

Araújo (2003, p.52) diz que “o estado limite de serviço corresponde ao estado em que a utilização da estrutura torna-se prejudicada por apresentar deformações excessivas, ou por um nível de fissuração que compromete a sua durabilidade.”

O estado limite último é aquele relacionado ao colapso, o dimensionamento de peças de concreto armado é feito, impondo que na seção mais solicitada, seja alcançada a deformação limite específicas dos materiais, ou seja, o colapso pode ocorrer tanto pela ruptura do concreto, quanto pela deformação excessiva da armadura tracionada.

Neste estado a segurança é garantida fazendo com que as solicitações correspondentes as cargas majoradas (solicitações de cálculo) sejam menores que as solicitações últimas sendo estas as que levariam a estrutura a ruptura (ou atingir um estado limite último) se os materiais tivessem suas resistências reais (resistências características) minoradas por coeficientes de ponderação das resistências (resistências de cálculo). (CARVALHO, 2007, p.42)

Neste trabalho, foi avaliada a influência de três diferentes procedimentos de cura: submersa, esporádica e negligenciada, na capacidade portante, flecha, formação e abertura de fissuras de vigas de concreto armado em escala real submetidas ao ensaio de resistência à flexão em quatro pontos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

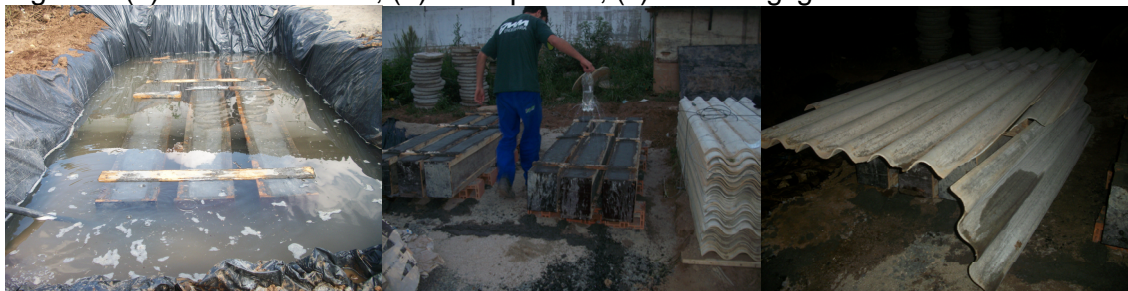
Visando analisar a influência da cura no desempenho de vigas de concreto armado. Foram moldados nove elementos com seção transversal de (12 x 25) cm e comprimento de 240 cm. Todos dimensionados no domínio 2 ($x/d = 0,071$) utilizando armadura mínima, para combate das tensões de flexão e cisalhamento de acordo com a NBR 6118 (2003). Para a moldagem dos elementos utilizou-se aço CA 50 e concreto usinado com F_{ck} de 25 MPa, slump (80 ± 10)mm e relação água/cimento(a/c) de 0,7. Foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test), de modo a confirmar se o concreto estava de acordo com o solicitado e indicado na nota fiscal de compra. Seis corpos de prova foram moldados conformes especificações da NBR 5738 (2003), e ensaiados aos vinte e oito dias na prensa de compressão do LMCC- Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESC localizado no I.Parque, respeitando o estabelecido pela NBR 5739 (2007). Para efeito de comparação experimental foi adotado no dimensionamento ao invés do f_{ck}

a resistência média a compressão (f_{cm}) das amostras cujo valor foi de 30,7 MPa. As vigas foram divididas em três grupos cada qual contendo três exemplares. Os grupos foram submetidos a diferentes condições após o início de pega, quais sejam:

- Grupo 01 - Cura negligenciada;
- Grupo 02 - Cura parcial (aspersão descontínua de água), no período de dez dias;
- Grupo 03 - Submerso em água durante vinte e oito dias.

Os procedimentos de cura (grupos 02 e 03) iniciaram-se logo após o tempo de pega do concreto. Todavia, devido à pressão exercida pela água sobre as vigas submersas, essas não foram submetidas a tal condição tão logo se deu o início de pega. Por essa razão, observou-se o período de vinte e quatro horas para que a resistência do elemento fosse maior que a pressão exercida pela água. Nesse intervalo de tempo as vigas foram curadas com sacas vazias de argamassa industrializada, mantidas umedecidas. O grupo que teve a cura negligenciada foi protegido em dias de chuva, de modo a não haver qualquer contato com a água. Na idade de vinte e oito dias, ainda nas fôrmas foram transportadas da obra onde haviam sido moldadas até o LEE- Laboratório Experimental de Estrutura da UNESC localizado no I.Parque, onde foram ensaiadas. A Figura 1 demonstra os procedimentos de cura.

Figura1: (a) Cura submersa; (b) Cura parcial; (c) Cura negligenciada



a)
Fonte: Autor, 2012.

b)

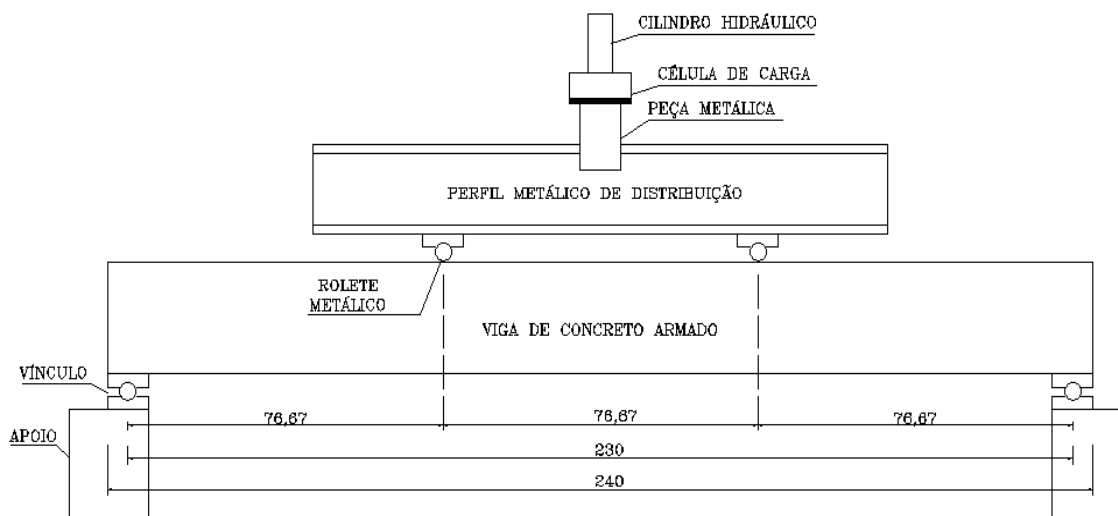
c)

2.1 METODOLOGIA DO ENSAIO NAS VIGAS

A instrumentação utilizada no ensaio tem por objetivo fornecer dados de carga aplicada x flecha. Os equipamentos utilizados foram: Pórtico metálico montado sobre uma laje de reação, cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 KN, transdutor de deslocamento (LVDT) de 100mm da marca HBM, além do equipamento de aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos também da marca HBM.

Todas as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos com dispositivos para simular rótulas nos seus apoios. O carregamento foi aplicado na vertical de cima para baixo por meio de um cilindro hidráulico, em que a carga era aplicada diretamente sobre um perfil metálico com rigidez adequada a transferir para as vigas de concreto, duas cargas pontuais nos terços médios. A figura 2 representa o esquema adotado para o ensaio.

Figura 2: Modelo adotado no ensaio



Fonte: Autor, 2012.

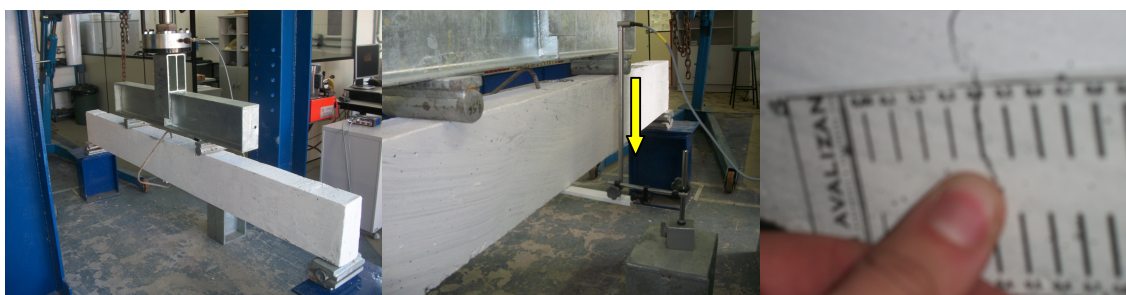
No decorrer da aplicação da carga foi verificada a formação e abertura de fissuras, flecha e capacidade de carga na ruptura. As verificações, de modo a analisar a diferença de comportamento entre as vigas se deram nos seguintes tempos da aplicação de carga:

- Quando aplicada a carga calculada para o estado limite de serviço (ELS);
- Quando aplicada a carga calculada para o estado limite último (ELU);
- Quando o valor da flecha atingiu o máximo permitido por norma ($l/250$) e;
- Na ruptura.

As cargas calculadas para as verificações no estado limite de serviço e último, foram iguais a 8,78 e 13,00 KN respectivamente. Esses valores foram obtidos utilizando as teorias de dimensionamento de vigas de concreto armado preconizadas pela NBR 6118 (2003). Já a flecha máxima permitida foi calculada de acordo com a tabela 13.2 da mencionada norma, cujo valor para o limite máximo de aceitabilidade sensorial ($l/250$) é de 9,2mm.

A força aplicada era crescente ao longo do tempo, porém nos estados limites e na flecha máxima de norma a carga era mantida estática e de imediato era verificado a formação e abertura de fissuras, isso por que o equipamento não consegue manter a carga estática por um longo período de tempo. Sabe-se que a abertura de fissura e a flecha tenderiam a aumentar se mantido o carregamento estático por mais tempo. Na Figura 3 é possível observar as principais etapas do ensaio.

Figura 3: (a)Aplicação da carga (b) leitura da flecha (c): abertura de fissura



a)

b)

c)

Fonte: Autor, 2012.

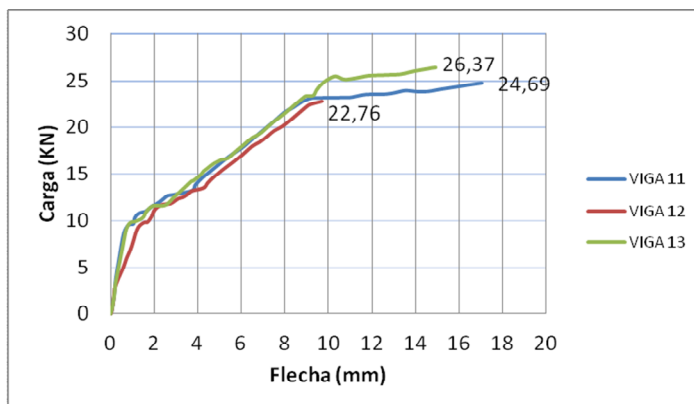
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram que houve uma sensível influência dos procedimentos de cura quanto à capacidade de carga, flecha, formação e abertura de fissuras, conforme pode ser constatado nos gráficos das Figuras 7,8,9 e 10.

No entanto a influência negativa da não realização da cura tende a aumentar para vigas com maior taxa de armadura, especialmente quando dimensionadas no domínio 3, uma vez que no ensaio os elementos romperam por escoamento do aço, não permitindo uma melhor análise do comportamento da peça.

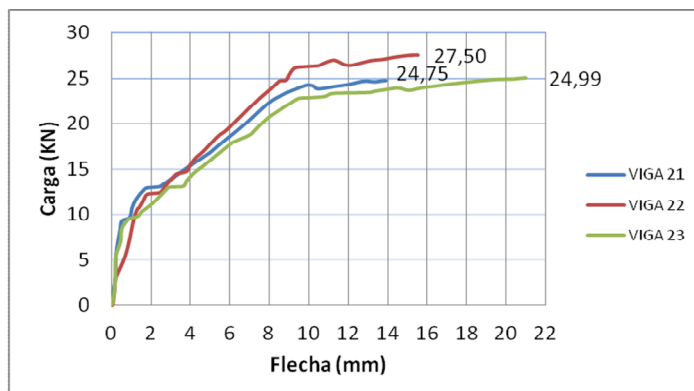
Os gráficos das Figuras 4, 5 e 6 demonstram o comportamento da carga x flecha das vigas de cada grupo até a ruptura. As ondulações verificadas antes de atingir a tensão de escoamento do aço se devem ao fato de o aparelho utilizado para o ensaio não conseguir manter a carga estática, ou seja, nos instantes em que eram feitas as avaliações de formação e abertura de fissura havia uma pequena diminuição de carga e um acréscimo no valor da flecha. Já as ondulações próximas da carga de ruptura indicam que o aço escoou.

Figura 4: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 01



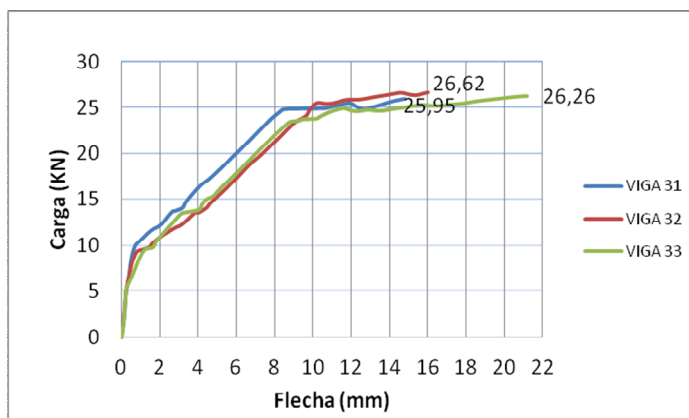
Fonte: Autor, 2012.

Figura 5: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 02



Fonte: Autor, 2012.

Figura 6: Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 03



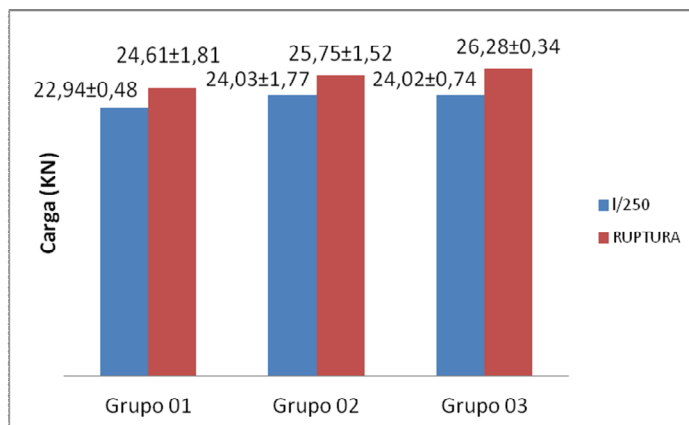
Fonte: Autor, 2012.

3.1 CAPACIDADE DE CARGA

O gráfico da Figura 7 demonstra que independente da condição de cura os grupos superaram a capacidade de carga calculada para o estado limite último, no entanto houve uma perceptível influência no comportamento dos grupos:

- **l/250**- O grupo 01 atingiu a flecha máxima de norma com um menor valor de carga, em relação ao grupo 02 e 03 de 4,54% e 4,50% respectivamente.
- **RUPTURA**- O grupo 01 atingiu a ruptura com um menor valor de carga, em relação ao grupo 02 e 03 de 4,43% e 6,35% respectivamente.

Figura 7: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à capacidade de carga



Fonte: Autor, 2012.

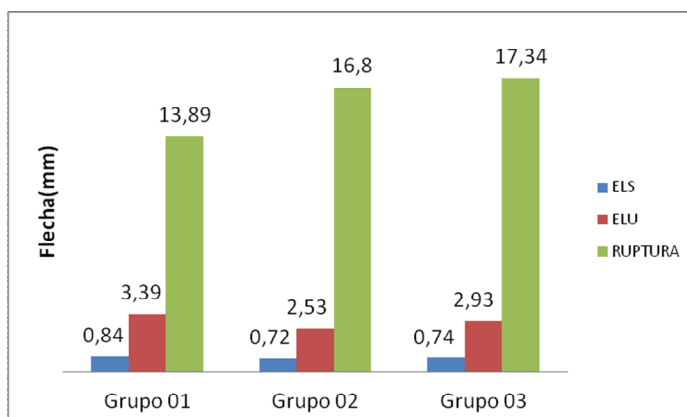
Considerando a carga calculada para o estado limite último (13,00 KN) os grupos 01, 02 e 03 resistiram 47,17%; 49,51 % e 50,53%, respectivamente a mais que a carga calculada.

3.2 FLECHA

De acordo com a tabela 13.2 da NBR 6118 (2003) o valor limite de deslocamento visível em elementos estruturais não poderá ser superior a $(l/250)$. A flecha máxima permitida pela norma para as vigas em estudo, sendo o vão teórico (l) de 230 cm é de 9,2 mm. O gráfico da Figura 8 mostra que as deformações dos elementos ficaram aquém do limite máximo estipulado para o estado limite de serviço (ELS) e até mesmo para o estado limite último (ELU), no entanto houve diferença de comportamento:

- ELS- O grupo 01 apresentou flecha de 14,28 % a mais que o grupo 02 e 11,90% a mais que o grupo 03;
- ELU- O grupo 01 apresentou flecha de 25,37 % a mais que o grupo 02 e 13,57% a mais que o grupo 03;
- RUPTURA- a flecha foi tanto maior quanto foi à carga de ruptura dos grupos. Os grupos 02,03 apresentaram valores de flecha superior ao grupo 01 de 17,32% e 19,90% respectivamente.

Figura 8: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à flecha



Fonte: Autor, 2012.

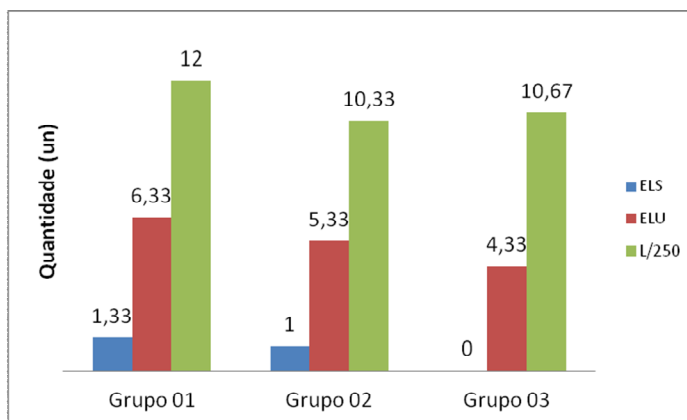
Analizando ainda os gráficos das Figuras 7 e 8 fica evidenciado que o valor de flecha máxima ($l/250$) só é superado próximo a atingir a ruptura, pois nota-se uma pequena variação de carga entre a flecha máxima de norma ($l/250$) e a ruptura.

3.3 FORMAÇÃO DE FISSURAS

No gráfico da Figura 9 é possível observar uma sensível influência da cura na formação de fissuras:

- ELS- O grupo 01 apresentou 24,81 % a mais que o grupo 02, já o grupo 03 não apresentou fissuras.
- ELU- O grupo 01 apresentou 15,80 % a mais que o grupo 02 e 31,60% a mais que o grupo 03;
- $l/250$ - O grupo 01 apresentou 13,92 % a mais que o grupo 02 e 11,08% a mais que o grupo 03.

Figura 9: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à formação de fissuras



Fonte: Autor, 2012.

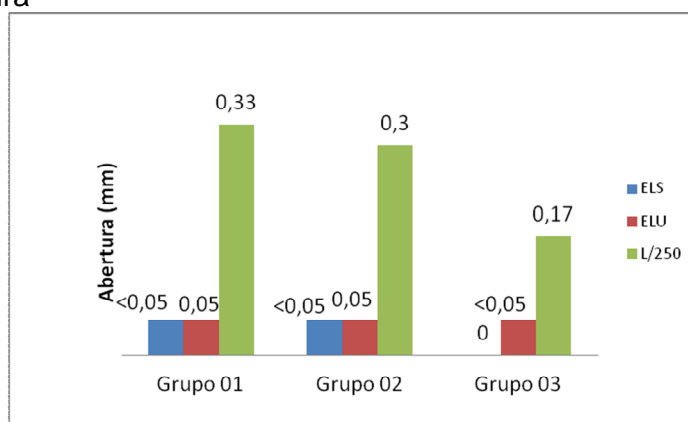
A perda de parte da água de amassamento fez com que houvesse redução da resistência do concreto, deixando a camada superficial mais fraca e porosa, portanto, mais propensa a sofrer fissuração.

3.4 ABERTURA MÁXIMA DE FISSURA

Considerando que as vigas foram moldadas numa região de classe de agressividade II, a abertura máxima de fissura de acordo com a tabela 13.3 da NBR 6118 (2003) é de 0,3 mm. O gráfico da figura 10 demonstra que independente da realização da cura as aberturas de fissuras dos elementos ficaram aquém do limite máximo estipulado para o estado limite de serviço (ELS) e até mesmo para estado limite ultimo (ELU), no entanto houve uma notável diferença de comportamento:

- ELS- O grupo 01 e 02 apresentaram aberturas menores que 0,05mm, já o grupo 03 não apresentou fissuras.
- ELU- O grupo 01 e 02 apresentaram aberturas iguais a 0,05mm, já o grupo 03 apresentou abertura menor que 0,05mm.
- I/250- O grupo 01 apresentou abertura de 9,09 % a mais que o grupo 02, e 48,48% a mais que o grupo 03.

Figura 10: Comparação entre as médias aritméticas dos grupos quanto à abertura máxima de fissura



Fonte: Autor, 2012.

Analisando ainda os gráficos das Figuras 7 e 10, é perceptível que o colapso das vigas para os grupos 01 e 02 se deu imediatamente após ter atingido a abertura máxima de fissura permitida por norma, no caso do grupo 3 pode até ter ocorrido antes mesmo de ter superado tal limite.

4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que houve uma sensível influência dos diferentes procedimentos de cura na formação e abertura de fissuras, flecha e capacidade de carga. Os elementos submetidos à cura parcial (aspersão descontínua de água) e os submersos em água apresentaram um melhor comportamento em relação aos que não foram curados. Porém para as verificações no estado limite de serviços os valores de flecha e abertura de fissuras estão aquém dos limites máximos especificados. Já para as verificações para o estado limite último para todos os grupos a capacidade de carga foi cerca de duas vezes maior que a calculada, demonstrando que os coeficientes de segurança desde que os procedimentos sejam executados de acordo com todos os preceitos de norma são maiores que os utilizados. Quando feito o comparativo entre o grupo 01 (pior situação) com o grupo 03 (melhor situação) a diferença de comportamento fica evidenciada nos itens a,b,c,d a seguir:

a) Capacidade de carga:

- I/250- O grupo 01 atingiu a flecha máxima de norma com 4,50% menos carga que o grupo 03.
- RUPTURA- O grupo 01 atingiu a ruptura com 6,35 % menos carga que o grupo 03.

b) Flecha:

- ELS- o grupo 01 apresentou flecha de 11,9 % a mais que o grupo 03;
- ELU- o grupo 01 apresentou flecha de 13,57% a mais que o grupo 03;
- RUPTURA- Na ruptura a flecha foi tanto maior quanto foi à carga de ruptura dos grupos, logo a flecha do grupo 03 foi 19,90% maior que a do grupo 01.

c) Formação de fissuras:

- ELS – A média do grupo 01 foi de 1,33 fissuras, já o grupo 03 não apresentou fissuras.
- ELU- O grupo 01 apresentou 31,60% a mais que o grupo 03;
- I/250- O grupo 01 apresentou 11,08% a mais que o grupo 03.

d) Abertura de fissuras:

- ELS- O grupo 01 apresentou aberturas menores que 0,05mm, já o grupo 03 não teve fissuras;
- ELU- O grupo 01 apresentou abertura de 0,05mm, e o grupo 03 menor que 0,05mm;
- I/250- A abertura do grupo 01 foi 48,48 % superior ao grupo 03.

A influência negativa da não realização da cura em vigas de concreto armado tende a ser mais significativa em elementos dimensionados no domínio 3 (estruturas superarmadas não são recomendadas) uma vez que para este ensaio as vigas foram dimensionadas no domínio 2 e o estado limite último (ruptura) foi caracterizado pela deformação excessiva do aço onde praticamente não houve participação do concreto para resistir aos esforços de compressão.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738 – Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739 – Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007

_____. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. Rio Grande, RS: DUNAS, 2003. 222 p.

_____. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande, RS: Editora DUNAS, 2003. 325 p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2010. 367 p.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de cimento portland**. 13. ed. Porto Alegre: Globo, 1998. 307 p.